心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 11, 1901–1914
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01901

·主编特邀(Editor-In-Chief Invited)·

编者按：

视觉注意的神经机制一直是认知神经科学的重要研究课题。广州大学教育学院心理系傅世敏教授及其团队利用事件相关电位(ERP)技术，就空间选择性注意的神经机制、特别是初级视皮层在空间选择性注意中的作用问题，进行了国际上较早的和较系统的研究。他的研究结果提示，不同于传统的反馈假说，初级视皮层在一定的实验条件下可以受视觉空间注意的早期直接调制。他独特地提出了诱发初级视皮层的空间注意效应的可能影响因素，包括知觉负载、注意范式、刺激特性等。傅世敏教授的学术观点在最近 Cognitive Neuroscience 杂志上进行的国际同行大讨论中得到了重视——他的多篇研究成果被多位国际同行多次引用，他本人也受主编特邀就此争论发表了两篇评论。本篇综述即是傅世敏教授在整合课题组学术观点及该领域发展前沿成果的基础上，对“初级视皮层是否受空间注意的直接调制”这一争论性问题做出的最新回答。傅世敏教授与此问题直接相关的多项研究发表在 NeuroImage，Human Brain Mapping, Biological Psychology 等杂志上。

(本文责任编辑：郭春彦)

研究争论：空间注意是否调制 C1 成分?*

傅世敏 陈晓雯 刘雨琪

(广州大学教育学院心理系，脑与认知科学中心，广州 510006)

摘 要 视觉注意的事件相关电位研究中，对源于 V1 的 C1 成分是否受空间注意调制存在争议。多数派观点认为 C1 不受空间注意直接调制，但存在对 V1 的延迟反馈调节；少数派观点则认为在一定的实验条件下，空间注意可以在视觉信息加工的早期前馈加工阶段直接调制 C1 成分。近期双方就此问题展开了讨论。本综述中，我们首先概述了双方基本观点和实验证据。其次，简要概括了 C1 注意效应的多个影响因素。再次，就近期关于 C1 注意效应的可重复性、注意负载与知觉负载对诱发 C1 注意效应的作用、极性翻转与源于 V1 的关系这三方面的争论进行了述评。最后，针对该研究争论我们提出了两个原创性观点：其一，需以开放而又谨慎的态度对待 C1 注意效应；其二，有些方法和技巧可能有助于观察到潜在的 C1 注意效应。综上，多数派观点已得到大量实验证据支持，而少数派观点尚需提供更加决定性的实验证据；该项争论还将继续。

关键词 注意；C1；事件相关电位(ERP)

分类号 B842.2

选择性注意的经典认知心理学理论存在早期选择和晚期选择之争，且各有其行为学证据；而事件相关电位(event-related potential, ERP)技术的引入，则为解决这一争论提供了决定性的证据。早期关于空间选择性注意的 ERP 研究表明，注意可以调制早期的 ERP 成分——P1 和 N1，这为注意的早期选择理论提供了两方面的证据。一方面，P1 和 N1 成分的峰潜伏期大致为刺激呈现后 100~200 ms，属于认知早期的知觉过程；另一方面，利用 ERP 源分析技术而计算出来的这些注意效应的神经源，最早可被定位于视觉信息加工和传导通路上的外侧纹状皮层(extra-striate cortex)，属于视觉皮层通路上相当早期(仅在初级视皮层或 V1 之后)的解剖学位置。因此，从注意效应发生的时间过程(早期感知觉阶段)以及神经源定位(较早的视觉皮层)这两方面证据来看，都强有力地支持注意的早期选择观点。

然而，关于选择性注意起作用的时间点还存在争论。争论的主要问题已不在于早期和晚期，而是：最早的注意选择可以发生在什么时间？用

收稿日期：2018-06-20
* 国家自然科学基金资助项目(31371142)。
通信作者：傅世敏, E-mail: fusm@gzhu.edu.cn

ERP 的语言来表述，那就是：视觉皮层中最早的 ERP 成分——C1，是否受选择性注意调制？对此问题，存在多数派和少数派两种观点。根据多数派观点，C1 成分不受注意直接调制(Heinze et al., 1994; Hillyard, Vogel, & Luck, 1998; Martínez et al., 1999)；而少数派观点则认为，在一定的实验条件下，注意可以在前馈信息加工阶段调制 C1 成分(Kelly, Gomez-Ramirez, & Foxe, 2008; Rauss, Pourtois, Vuilleumier, & Schwartz, 2009)。双方具体的观点和实验证据见后。

为什么这个争议性问题非常重要？原因在于，对这个问题的解决能帮助我们更加准确地理解初级视皮层(V1)在视觉信息加工，特别是在选择性注意中的作用及机制。而对 V1 与注意关系问题的理解，大致有以下三个阶段。第一阶段，早期观点认为，V1 在视觉信息加工过程中起着接收器和传输器的作用，是被动的，不受注意的影响(Heinze et al., 1994; Martínez et al., 1999)。然而，这种观点已经被众多功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究否定。例如，多个研究表明，V1 的激活程度受注意的影响，与非注意相比，注意时 V1 的激活更强(Bahrami, Carmel, Walsh, Rees, & Lavie, 2008; Watanabe et al., 2011)。由此提出第二阶段的观点，注意可以调制 V1 的激活，或者说，V1 不仅仅是被动的信息接收器和传输器，而且还可以主动地参与到视觉信息加工中去。第三阶段的观点，也是目前存在争议的，即，注意调制 V1 的激活究竟是发生于早期的前馈(feed-forward)阶段(Fu, Fedota, Greenwood, & Parasuraman, 2010a; Kelly et al., 2008; Kelly, Vanegas, Schroeder, & Lalor, 2013; Rauss et al., 2009)还是稍晚期的反馈(feed-back)阶段(Di Russo, Martinez, & Hillyard, 2003; Martínez et al., 2001a)。因前馈阶段属于对 V1 的直接调制，而反馈阶段需经更高级的视觉皮层加工之后再间接调制 V1 的激活，因此这两种观点也可简称为：V1 的“早期直接调制”与“晚期反馈调制”之争。当然，“晚期反馈”中的晚期仍是指反应前的知觉加工阶段，只是相对于早期的直接调制而言发生较晚。

然而，对于 V1 和注意关系问题的“早期直接调制”与“晚期反馈调制”之争，fMRI 技术并不能给出令人信服的答案。原因在于，fMRI 尽管可以进行精确的空间定位，但其时间分辨率远不足以区分快速发生的注意过程。ERP 技术则因其毫秒级的高时间分辨率，对于解决 V1 受视觉注意调制的早期和晚期之争有着独特价值。

1 争论的焦点问题：C1 成分是否受空间注意调制？

注意对 V1 是早期直接调制还是晚期反馈调制，实际上牵涉到一个关键的 ERP 成分——C1。C1 成分一般被认为是视觉皮层的第一个反应，可被定位于初级视皮层(V1) (Clark & Hillyard, 1996)。C1 的峰潜伏期大约为 80~100 ms，起始潜伏期大约为 50 ms，主要分布于枕区(Di Russo et al., 2003; Fu, Greenwood, & Parasuraman, 2005a; Kelly et al., 2008; Rauss et al., 2009)，也有研究发现其最大波幅分布于顶区(Fu et al., 2010a)。因其波幅大约为 0.5~2 μV，相对较小，信噪比较低，因此通常需要几百次试次进行叠加平均，甚至有研究者提出需要 1000 次以上(Luck, 2005)。C1 成分还有一个明显的特征是，其极性因刺激物的位置而翻转，即，刺激物呈现在上视野时，C1 极性为负，而刺激物呈现在下视野时，C1 极性为正。这是由视网膜与初级视皮层之间的投射关系所决定的(Jeffreys & Axford, 1972a; Jeffreys & Axford, 1972b)，左视野的刺激投射到矩状裂的右侧，上视野的刺激投射到矩状裂的下侧；反之，右视野的刺激投射到矩状裂的左侧，下视野的刺激投射到矩状裂的上侧。由于这个投射关系，矩状裂上侧与下侧皮层的 C1 极性分别垂直于皮层表面，正好是相反的。许多研究也证实了 C1 极性翻转的现象(Baumgartner, Graulty, Hillyard, & Pitts, 2018; Kelly et al., 2008; Rauss et al., 2009)。

因此，用 ERP 的语言来解读“早期直接调制”与“晚期反馈调制”之争，争论的焦点问题就是：C1 成分是否受注意调制，或者说，是否存在 C1 注意效应。需要说明的是，“C1 注意效应”特指“C1 的空间注意效应”而非其他注意效应。如果 C1 成分受注意调制，则支持“早期直接调制”的观点；反之，如果 C1 成分不受注意调制，而是在之后的成分(例如 P1 和 N1)上表现出注意的调制作用，则倾向于支持“晚期反馈调制”的观点。相应地，对此争论主要存在两种观点，一种是目前的多数派观点，核心看法是 C1 成分不受空间注意调制；另一种是少数派观点，主张 C1 成分在一定条件下受

空间注意的调制。

2　多数派观点及其证据

较早期的多数派主要有两个观点。第一，起源于初级视皮层的 C1 成分不受注意调制；第二，最早的注意效应表现在 P1 成分(峰潜伏期约为 110 ms)上，该成分可定位于外侧纹状皮层(Clark & Hillyard, 1996; Heinze et al., 1994)。大部分支持多数派观点的证据来自随意注意(voluntary attention)范式，也有少量研究使用非随意注意(involuntary attention)范式得到了相同的结论(Hopfinger & Mangun, 1998)。据此，多数派学者提出了“反馈假说”，以调和不同研究技术之间结果不一致的问题(Di Russo et al., 2003; Martínez et al., 1999)。

2.1　持续性注意和中央提示范式下的证据

多数派观点的实验证据多来源于随意注意范式，比如持续性注意(sustained attention)任务，让被试持续注意左侧，忽视右侧，并对左侧视野中的某一类目标刺激做出反应(Clark & Hillyard, 1996; Di Russo et al., 2003; Fu et al., 2008)；或者中央提示范式，每一试次前于视野中央呈现一个空间提示信号，使得被试可以把注意力放到被提示的空间上(Heinze et al., 1994)。对同一刺激在注意侧和非注意侧诱发的 ERP 进行比较。研究结果显示，注意最早调制枕区 P1(峰潜伏期约 110 ms)的波幅，而对 C1 成分(峰潜伏期约 80 ms)没有影响。

2.2　外周提示范式下的证据

只有较少的早期研究采用外周提示范式对此问题进行探讨(Fu, Fan, Chen, & Zhuo, 2001; Fu et al., 2005a; Hopfinger & Mangun, 1998)。这些研究也得出了与随意注意范式下一致的结论：即注意效应最早表现在枕区 P1 成分而不影响最初的 C1 成分。

以往较少有 ERP 研究使用外周提示范式的原因有二。首先，提示与目标之间的间隔太近，目标刺激的加工可能会受到提示刺激的影响，例如感觉疲劳或者感觉交互。其次，由于外周提示必须在较短的 SOA (通常小于 300 ms)下才能起到空间提示作用，而较短的时间间隔会使提示和目标诱发的 ERP 之间产生重叠，导致目标刺激诱发的 ERP 不纯而影响结果。

对提示与目标刺激诱发的 ERP 重叠问题，存在两种解决方法。一是利用 ADJAR 算法(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2005a; Woldorff et al., 1997)去除 ERP 重叠。按照这个算法，首先需要计算出重叠情况下所得的提示与目标两者诱发的原始 ERP，然后根据提示与目标之间的时间关系频次分布模式，估算出互相重叠的部分，再从原始 ERP 中减去这部分重叠，并以此作为初始进行重复的迭代计算，直至连续两次计算结果的差异非常微小。使用该方法最好是保证提示与目标间的 SOA 在各个时间点的频次分布模式为长方形分布(即，每个 SOA 时间点上有相同的试次数)，且 SOA 较长(大于 200 ms)。二是利用相减法(Fu et al., 2005a; Fu et al., 2009)减去 ERP 重叠。使用该方法时，要求固定实验设计中的 SOA (例如 150 ms)，并包含提示与目标继时呈现以及单独提示两种情况。数据分析时以目标起始作为时间零点，叠加平均求得“提示加目标”以及“单独提示”两类试次的 ERP，之后从“提示加目标”试次的 ERP 中减去“单独提示”试次的 ERP，得到目标刺激诱发的 ERP。

综上，无论是采用随意注意范式的研究，还是早期利用外周提示实验范式的研究，都支持了多数派的观点，即 C1 成分不受注意调制。

2.3　反馈假说

上世纪 90 年代后期以来，随着 fMRI 在注意研究中的广泛应用，很容易观察到注意引起更强的 V1 激活的现象(Sylvester, Shulman, Jack, & Corbetta, 2009)，且非人灵长类的电生理记录中也观察到空间注意可以调制 V1 神经元活动(Motter, 1993; Slotnick, 2013)。然而 ERP 研究却显示，由 C1 成分所反映的 V1 活动不受注意的调制。这种由技术不同而导致的结论差异看似矛盾，实则不一定——因为 fMRI 精于空间定位但其时间分辨率不够高，而 ERP 能提供毫秒级的时间分辨率但空间定位不够精确，因此两者可能反映注意过程在不同时程的机制。

有研究者试图用“反馈假说”来解决这个似乎的矛盾(Di Russo et al., 2003; Martínez et al., 1999)。根据反馈假说，fMRI 研究中观察到的 V1 注意效应，反映的并非是早期前馈阶段注意在 V1 上的直接调制作用，而是视觉信息到达更高级的视觉皮层之后，反馈至 V1 而影响 V1 的激活，因此是一种晚期的反馈调制机制。这与 ERP 研究没有观察到 C1 的注意效应的结果并不矛盾，因为确实没有 V1 上早期前馈阶段的注意调制作用；更进

一步地, ERP 研究中也观察到了 150 ms 左右的注意效应, 大约在 P1 和 N1 成分之间, 可以被定位于 V1。这个时间点明显晚于 C1(峰潜伏期约 80 ms), 可能正好对应于反馈机制(Martínez et al., 1999; Martínez et al., 2001a)。

2.4 多数派观点小结

综上, 无论是较早期的“最早的空间注意效应产生于 P1 成分”, 还是之后的注意“反馈假说”, 尽管对于“反馈”机制存在与否并不见得达成共识, 但作为“C1 注意效应是否存在”争论的多数派一方, 一致的观点是 C1 成分不受注意调制, 不存在 C1 注意效应。多数派观点的研究主要使用随意注意范式, 包括持续性注意和中央提示范式, 其证据主要是最早的注意效应表现于 P1 而不是 C1 成分。因感觉交互以及 ERP 重叠问题, 较少有研究使用非随意注意(外周提示)范式; 部分使用外周提示范式的研究同样得到与随意注意范式相似的结果, 支持了多数派观点。稍后期提出的“反馈假说”, 旨在调和与脑成像研究发现的 V1 注意效应之间的矛盾, 但其实质仍然不支持 V1 在早期前馈阶段受注意调制的观点。

3 少数派观点及其主要证据

关于注意和 V1 的关系, 少数派观点中比较一致的看法是: 在特定的条件下, 空间注意可以调制 C1 成分。这与多数派“C1 不受注意调制”的核心观点截然不同。自 2008 年以来, 少数派观点得到了一些实验证据的支持, 以三个代表性研究进行说明。

3.1 代表性研究一: Kelly et al., (2008)

这是第一个揭示空间注意可以调制 C1 成分的研究。该研究采用了中央提示范式, 刺激为较容易诱发 C1 成分的 gabor 光栅格, 并分为提示有效(注意)与提示无效(非注意)两类。有效和无效两种刺激的位置是斜向放置的, 即注意转移时需经过中央注视点。特别重要的是, 该研究针对被试间 V1 解剖结构的个体差异, 通过预实验调节刺激物的位置, 对 C1 的诱发进行了优化。这种个性化的位置调整有利于减小被试之间因 V1 结构不同而带来的 C1 的变异性, 从而有助于揭示潜在的原本较小的 C1 注意效应。被试的任务是对提示位置上 30%试次较低亮度的 gabor 刺激做出反应。研究发现, 空间注意调制 C1 成分, 起始于刺激呈现后约 58 ms, 且源定位分析表明该成分起源于 V1。该项结果支持了注意对 V1 的早期直接调制观点。

如后面将讨论的, 该研究受到了多数派观点持有者的质疑, 例如最近一项重复性研究没能重复出 C1 注意效应(Baumgartner et al., 2018)。另外, 中央提示下观察到 C1 注意效应, 也与我们主张使用外周提示(非随意注意)范式更利于观察 C1 注意效应的观点不一致(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009)。因此, 对于该范式下发现的支持性结果还需进一步检验。

3.2 代表性研究二: Rauss et al., (2009)

这项研究的主要思路是: 基于总体注意资源有限的假设, 通过操控视野中央区域的注意负载(任务难度)以调节周边线段阵列可得的注意资源, 最终考察可得注意资源的多寡对任务无关的线段阵列的影响。研究发现, 任务无关的外周刺激所诱发的 C1 成分受注意负载的影响——当中央任务为高注意负载时, 外周刺激可得注意资源较少, 诱发的 C1 较小; 反之, 当中央任务为低注意负载时, 外周刺激可得注意资源相对较多, 诱发的 C1 较大。这是第一项通过操控注意负载观察到 C1 注意效应的研究。

值得注意的是, 这项研究中, 外周与任务无关的刺激阵列总是在中央刺激之间的间隔中出现。而在后续研究中, Rauss 等人使用了相似的实验材料, 但使得外周的任务无关刺激与中央的刺激同时呈现, 仍然得出了相同的结论, 即, 与高注意负载相比, 中央任务低注意负载时, 外周刺激诱发的 C1 更大(Rauss, Pourtois, Vuilleumier, & Schwartz, 2012a)。

然而, 对于这项研究也存在一些争论。第一, 注意负载的操控能否诱发 C1 效应(Ding, Martinez, Qu, & Hillyard, 2014; Fu, Fedota, Greenwood, & Parasuraman, 2010b)? 第二, 知觉负载和注意负载究竟哪个对 C1 注意效应更为重要(Fu, Fedota, Greenwood, & Parasuraman, 2012; Rauss, Pourtois, Vuilleumier, & Schwartz, 2012b)? 具体见下文。

3.3 代表性研究三: Fu et al., (2009)

这是第一个使用外周提示范式观察到 C1 注意效应的研究。该项研究的主要特点有三。一是使用了前人研究中较少使用的 Posner 外周提示范式, 利用相减法减去了提示和目标刺激的 ERP 重

叠; 二是操控了刺激的知觉负载, 分高、中、低三个水平; 三是目标刺激材料为适于 V1 加工的线段并且有分心物刺激伴随目标刺激出现。研究发现, 在 C1 成分上, 注意与知觉负载之间存在显著的交互作用, C1 注意效应仅在高知觉负载条件下出现, 而在低知觉负载和中等知觉负载条件下都不显著。这个实验结果支持了注意的知觉负载理论(Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994), 即知觉负载越高, 注意选择越早。

有研究者对外周提示范式下得到的 C1 注意效应提出了质疑。Baumgartner 等人认为, 使用外周提示范式不可避免地会带来 ERP 重叠问题以及提示与目标之间的感觉交互问题(Baumgartner et al., 2018)。ERP 重叠问题可以通过引入 cue-only 试次解决, 将有提示的目标试次诱发的 ERP 减去仅有提示没有目标试次诱发的 ERP。但是, 他认为提示与目标之间的感觉交互问题不好解决, 特别是目标刺激诱发的 ERP, 会存在提示刺激后的疲劳效应, 并反映在 ERP 上, 即由于疲劳效应而产生更小的 P1, 对于 C1 的抵消作用更少, 而导致出现 C1 的注意效应。因此, 需要分析早期的 C1 成分(例如 50~80 ms), 并演示出 C1 成分的极性翻转特点, 才能更好地证明该效应确实来自 V1。

对此质疑我们的回应如下：首先, 分析早期 C1 并演示 C1 成分的极性翻转是合理的建议, 可在后续研究中验证; 不过, 如前所述, 极性翻转是否能作为源于 V1 的决定性标准尚有争议(Ales, Yates, & Norcia, 2013; Kelly et al., 2013)。其次, 要研究最早的注意效应, 需要引入非随意注意, 因为非随意注意相对随意注意而言更早、更自动(Hopfinger & Mangun, 1998; Müller & Rabbitt, 1989)。再次, 随意注意范式下, 可能存在预期效应的混淆, 即, 空间上被注意的刺激也是被预期的; 而非随意注意范式下, 因提示与目标之间间隔很短, 可更好地排除预期的作用。另外, 基于 ERP 的锁时特点, 非随意注意范式下固定的提示与目标之间的间隔可能会使每次测试的注意效应更加稳定, 从而有助于记录到稳定而非在试次间变异的 C1 注意效应。最后, 也是最重要的, 该研究系统地操控了刺激的知觉负载水平, 发现了 C1 成分上知觉负载与注意的交互作用, 且只有在高负载的情况下才出现 C1 注意效应; 这个交互作用的结果很难用疲劳效应来解释, 因为低、中负载条件下都存在疲劳效应但却没有 C1 注意效应。

除了疲劳效应之外, 可能还有人会提出感觉交互的解释, 即, 提示与目标之间的感觉交互可能会由于目标刺激不同而不同, 而这可能导致仅在高知觉负载下出现 C1 注意效应。为了排除这种可能性, 我们在后续研究中进一步改进了刺激材料, 使得高知觉负载与低知觉负载两种刺激之间轮廓相似从而具有相似的提示与目标之间的感觉交互。即, 在尽量保证提示与目标之间的感觉交互在两种知觉负载条件下相当的情况下, 重复了高知觉负载下的 C1 注意效应(Fu et al., 2010a)。因此, 提示与目标之间的感觉交互也不能完全解释高负载条件下的 C1 注意效应, 这进一步支持了少数派观点。值得一提的是, 近来有研究使用与我们研究相似的刺激材料, 重复了高知觉负载条件下的 C1 注意效应(Dassanayake, Michie, & Fulham, 2016)。

3.4 其他支持少数派观点的证据

仅简要列举支持少数派观点的部分研究(详细介绍可见：陈建, 袁杰, 汪海玲, 王妍, 傅世敏, 2013)。有一项研究利用透明随机点图形成两个表面, 结果发现刺激出现在被提示过的表面时, 比出现在未提示的表面时诱发的 C1 更大(Khoe, Mitchell, Reynolds, & Hillyard, 2005)。一项脑磁图(MEG)研究也观察到了视觉刺激在 V1 上的注意效应(Poghosyan & Ioannides, 2008), 其时程为 55~90 ms。选择性注意对 V1 的调制作用还在另一项研究中得到了重复, 体现在注意条件下早期的 C1 成分比非注意条件下更大(Karns & Knight, 2009)。另外, 视觉刺激显著性带来的注意吸引对 C1 波幅也有影响, 显著性更强的刺激诱发出更大的 C1(Zhang, Zhao, Zhou, & Fang, 2012); 不过, 该研究可能需要进一步明确刺激物物理属性不同对 C1 成分可能带来的混淆。

3.5 少数派观点小结

少数派观点比较一致地认为 C1 的空间注意效应在特定条件下存在。但是, 对于 C1 注意效应产生的特定条件、边界范围以及如何有效地诱发该效应等问题, 仍然存在分歧。这些分歧包括：知觉负载和注意负载在诱发 C1 注意效应中的作用(Ding et al., 2014; Fu et al., 2009; Rauss et al., 2009), 进一步讨论见(Fu et al., 2012; Rauss et al., 2012a, 2012b), 采用外周提示实验范式的必要性

(Fu et al., 2009; Kelly et al., 2008), C1 的极性翻转是否证明其起源于 V1(Ales et al., 2013; Kelly et al., 2013), 等。要解决这些争议, 有必要先厘清可能影响 C1 注意效应的因素。

4 可能影响 C1 注意效应的因素

在之前的一篇综述文章中, 我们已经对影响 C1 注意效应的因素进行了分析(陈建等, 2013), 本文在此基础上进行简要概括和补充。我们提出, 可以把影响 C1 注意效应的因素归纳为三个方面: 影响 C1 成分的因素、影响注意效应的因素和影响 C1 注意效应的其他因素。主要看法是, 对 C1 成分本身影响较大的因素以及对注意影响较大的因素都可能会直接影响 C1 的注意效应; 同时, 还有其他因素可能会直接或间接地影响 C1 注意效应。

4.1 影响 C1 成分的因素

要研究 C1 的注意效应, 先决条件是要记录到有效可靠的 C1 成分。影响 C1 成分的主要因素包括刺激因素和分析与记录因素两类。

刺激因素主要包括刺激材料、刺激构型、刺激位置和刺激大小。刺激要适于 V1 加工, 例如线段、gabor 刺激、空间频率等(Baumgartner et al., 2018; Kelly et al., 2008; Rauss et al., 2009)。刺激构型最好包含分心物, 通过促进目标与分心物的竞争而增强注意效应(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009; Slotnick, 2018)。刺激位置最好在上视野, 以获得负向 C1, 若刺激呈现在下视野则与随后的 P1 成分重叠而导致不好区分。这是根据矩状裂十字模型所产生的预测, 并为众多研究所采用(Fu et al., 2010b; Fu et al., 2009; Kelly et al., 2008; Rauss et al., 2009, 2012a)。此外, 与单侧呈现刺激相比, 双侧视野呈现刺激可大大增强 C1 成分(Fu et al., 2010b)。一般而言, 刺激越大诱发的 C1 也越大, 但需明确要给注意效应留有空间, 避免 C1 本身的天花板效应。

分析与记录因素主要包括叠加次数/信噪比、电极选取、被试等。因 C1 成分通常较小, 需保证叠加次数以获得较好的信噪比; 利用较大的阵列式刺激可以提高 C1 波幅及信噪比(Rauss et al., 2009)。C1 成分通常分布在枕区中部, 分析电极一般选取 OZ, POZ 等(Di Russo et al., 2003; Martínez et al., 1999), 但也有研究发现 C1 的分布前移至 PZ, CPZ 电极(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009), 因此可根据具体实验条件选取最适宜观察 C1 的电极位置。

4.2 影响注意效应的因素

影响注意效应主要包括注意范式和注意类型的使用、注意负载/知觉负载的操控、非注意条件的控制。以往研究利用随意注意范式(Kelly et al., 2008; Rauss et al., 2009)和非随意注意范式(Fu et al., 2009)都获得了 C1 空间注意效应。从最早的注意调制效应的角度看, 外周提示这种非随意注意的范式可以诱发更早更自动的注意过程, 这可能会更适于观察早期 C1 注意效应, 但目前并无定论(Slotnick, 2018)。此外, 通过操控注意负载(Rauss et al., 2009, 2012a)与知觉负载(Fu et al., 2010b; Fu et al., 2009)的研究都观察到了 C1 的空间注意效应, 但是两种观点之间尚有分歧(Fu et al., 2012; Rauss et al., 2012b)。从逻辑上讲, 控制知觉负载这种自下而上的特性来影响注意应该早于通过自上而下地控制注意负载来影响注意。非注意条件的控制问题, 同样是为了留出让注意起作用的空间, 避免因非注意下刺激自动吸引注意而导致注意效应不容易显著。

另外, 行为实验中, 在一般的提示-目标范式下, 两者之间的刺激间隔是固定的。而 ERP 实验中, 因去除 ERP 之间重叠的问题通常使用在一定范围内离散的刺激间隔。不过这并非必须做的, 实际在 ERP 实验中, 可考虑外周提示范式下究竟使用固定间隔还是随机间隔。使用短时且固定的提示与目标刺激之间的间隔有助于保持不同试次之间注意效应的一致性, 但需考虑用于解决提示与目标刺激之间 ERP 重叠问题的相减法可能存在缺陷(Fu et al., 2009)。

4.3 影响 C1 注意效应的其他因素

(1)动机与奖赏。在非人灵长类上已经得到了比较确切的证据证实注意可以调制早期 V1 的活动(Baumgartner et al., 2018), 而在人类被试上则还有争论。因此, 有研究者提出了动机水平的解释: 非人灵长类动物在完成实验时往往会因任务表现较好得到奖赏而提高动机水平, 而人类被试则没有奖赏, 动机水平较低(Slagter, Alilovic, & Van Gaal, 2017)。值得注意的是, 近期有研究显示, 预测奖赏的空间提示可增强 C1 波幅, 而空间注意则不能(Bayer et al., 2017)。这可能提示是动机而非空间注意促进了早期前馈阶段的加工。不过,

奖赏与注意的选择机制在猴子上表现出高度重叠(Stănişor, Van Der Togt, Pennartz, & Roelfsema, 2013), 因此有可能只在高动机条件下, 注意效应才会发生在 V1 且可从头皮 C1 记录到。

(2)预期。注意与预期对早期信息加工的作用也需要加以区分。注意效应是刺激相关的, 而预期效应是指刺激可能性。已有 fMRI 研究表明, 这两种自上而下的机制都调制 V1 活动(Kok, Rahnev, Jehee, Lau, & De Lange, 2012)。然而在概率性提示任务, 例如 Baumgartner 等(2018)的研究中, 注意刺激总是被预期, 非注意刺激总是不被预期, 因此, 有必要对两者在前馈加工中的作用程度加以鉴别。另外, 近期有研究证实了刺激预测性对 C1 成分的调制作用(Herde, Rossi, Pourtois, & Rauss, 2018)。研究中, 不同情绪表情的面孔预测刺激出现在上视野或者下视野。结果发现, 对于目标试次而言, C1 波幅受刺激的可预测性而变, 不过这只限于那些意识到了面孔−刺激之间的位置关系的被试。这说明 V1 活动可以被更高级水平的认知过程快速调制, 对 C1 的空间注意效应是一个重要补充。

(3)情绪。有研究发现, 情绪刺激作为提示线索时, 可以快速吸引注意, 而且与快乐面孔相比, 恐惧面孔可以诱发出更大的 C1 成分, 其峰潜伏期约 90 ms (Pourtois, Grandjean, Sander, & Vuilleumier, 2004)。类似的结果在另一项执行注意的任务中得到了重复(Zhu & Luo, 2012)。因此, 情绪信息对注意早期阶段特别是 C1 的影响作用值得深入研究。

5　C1 空间注意效应之争论

5.1　可重复性问题之争——C1 注意效应能否被重复验证?

Cognitive Neuroscience 杂志于 2018 年的第一期和第二期发表了两篇 target article, 由此引发了多数派和少数派的争论。其中一篇 target article, Baumgartner 等人针对 Kelly et al. (2008)的研究所做的重复性实验(Baumgartner et al., 2018)。该研究采用了与 Kelly et al. (2008) 类似的刺激材料和实验范式, 同时也个性化设置刺激位置, 却没能重复相同的实验结果。因此, Baumgartner et al. (2018) 认为 C1 注意效应不可重复, 进而认为少数派观点不可靠, 比较安全的做法仍然是维持多数派观点。

对此质疑, Kelly 等人(2018)评论说, Baumgartner 的实验并非是完全的重复性实验, 与原始实验之间存在重要区别。首先, 研究使用的刺激材料不同。Baumgartner 研究中的材料尽管来自 Kelly 组的分享, 但刺激的版本却属于 Kelly et al. (2008) 研究的早期版本, 刺激光栅的高频和低频空间频率成分并不相同。其次, 研究之间刺激呈现的构型并不相同。Kelly 研究中刺激出现在左上或右下(斜向对角呈现), 在中央提示无效时, 注意转移会穿过注视点区域, 且刺激间距离视角较大; 而在 Baumgartner 的研究中, 刺激是按照上视野或下视野分别呈现的(对称水平呈现), 因此注意转移时不需经过中央注视点。最后, 也更为重要的是, 与 Baumgartner 的研究相比, Kelly 认为他自己的研究中被试的动机水平更高, 而动机水平可能是影响 C1 注意效应的一个重要因素(Slagter et al., 2017)。总之, Kelly 认为这些实验之间的差异可能是导致 Baumgartner 不能重复出主要结果的原因, 但并不能以此否定 C1 注意效应的存在。

Baumgartner 对评论进行了总结性回复。首先, 他承认 Kelly 所指出的刺激物理属性、刺激呈现方式、被试的动机水平等因素的确在两个实验之间存在不同。他同意这些因素可能影响结果, 但同时也指出, 这可能提示 C1 的注意效应只能在非常特定的实验条件下才能被观察到。其次, 他也总结了其他评论者提出的研究 C1 注意效应一些先天性的困难, 例如可能存在 C1 注意效应, 但是该效应可能不适于头表 EEG 记录(Slagter et al., 2017); 又如, C1 成分究竟是否真的来源于 V1, 也存在争议(Ales et al., 2013; Kelly et al., 2013)。Baumgartner 提出, 至少 C1 成分的早期部分(大约 50~80 ms)反映 V1 的活动, 而其较晚的部分则可能受到 V1 以外脑区的调制。最后, 他提到很重要的一点是, 被试大脑沟回的个体间差异会导致 C1 成分的潜伏期和波幅也存在巨大差异。不过, 在他和 Kelly 等(2008)的实验中, 都采用了个体化调整刺激位置的方法以得到最大的 C1 以及明显的 C1 极性翻转。此外, 他的回复中还提到了一些诱发 C1 注意效应的策略, 特别值得一提的是, 他对于我们提出的适于 V1 的刺激材料、呈现分心物、增强知觉负载等观点认为是好建议; 不过, 对于我们所提倡的外周提示范式, 他并不认同, 认为该范式下观察的 C1 注意效应可能并不来源于 V1 而是其他成分的叠加。

5.2 影响因素之争——知觉负载与注意负载对 C1 空间注意效应的作用

这个争论的双方，一方是我们(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2010b; Fu et al., 2009)，另一方是 Rauss 及其课题组(Rauss et al., 2009, 2012a)。双方就此问题在 Biological Psychology 杂志上进行了针对性的讨论与回复(Fu et al., 2012; Rauss et al., 2012b)。

首先，需要明确知觉负载与注意负载的界定及区别。知觉负载，一般指完成给定任务所需要加工的刺激信息总量，可通过增减分心物的数量(Lavie & Tsal, 1994)或者操控目标和分心物的相似性(Fu et al., 2005a; Fu et al., 2009)实现。因此，如果刺激的知觉负载不同，那么刺激物本身必定也是不同的。注意负载则是指，对同一刺激进行不同的认知加工，例如在快速呈现的视觉序列中找到某种特定的颜色(低注意负载)或者找到特定颜色加特定形状的组合(高注意负载)。Rauss 等人的研究中，刺激材料的知觉负载不变，但操控了注意负载，低注意负载条件下，需辨别刺激的单一特征，高注意负载条件下，需辨别刺激的两种特征 (Rauss et al., 2009, 2012a)。

为此，我们认为(1)刺激的知觉负载水平对 C1 空间注意效应的产生有重要作用；高知觉负载是产生 C1 注意效应的必要条件，只有知觉负载较高时，才会出现 C1 注意效应；而知觉负载较低时，C1 注意效应并不显著(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009)。(2)注意负载的操控最早引起的是 P1 成分的注意效应，对 C1 成分没有影响(Fu et al., 2010b)，说明注意负载并非影响 C1 注意效应的重要因素。这两个观点，特别是第二点，对 Rauss 等的研究(Rauss et al., 2009, 2012a)提出了质疑，也引起 Rauss 一方的评论和回应。

Rauss 等人认为(1)通过操控中央注视点区域的注意负载水平，会影响外周视野中任务无关的刺激阵列在一定距离范围内诱发的 C1 成分。中央任务的注意负载越大，外周无关刺激诱发的 C1 成分越小，表现出 C1 注意效应。(2)无论外周刺激与中央刺激不同步呈现(Rauss et al., 2009)还是同步呈现(Rauss et al., 2012a)，该效应都存在。因此，注意负载对诱发 C1 注意效应非常重要。

Rauss 等人评论道，Fu et al. (2012)的实验并不适于探讨注意负载的作用，因为对同一提示刺激的被动观看与任务相关(主动注意)之间不一定可以被认定为注意负载的差异(Rauss et al., 2012b)。被动观看可能是一条好的基线或低注意负载水平，但由于没有控制空间注意效应，且无行为表现指标，其与主动观看条件下的差异可能并不能仅解释为注意负载的作用，而是可能反映了非随意注意在被动观看和主动注意时的不同表现。此外，他还对我们实验中注意负载是直接还是间接操控的问题提出了质疑，并否认他们实验中会因中央任务注意负载小而使注意“泄漏”到周边刺激的可能。总之，Rauss 等人认为，我们的研究并不能否定注意负载在诱发 C1 注意效应中的作用。

对此评论我们进行了回复(Fu et al., 2012)。首先，我们认可双方对注意负载概念的统一界定，但两个研究组对注意负载的具体操作性定义不同，可能导致结果不一致。其次，我们论证了将注意负载划分为被动观看 vs.主动观看是一种有效的且直接的操控，就像持续性注意范式的操控一样，但不论是我们的这个实验还是以往持续性注意范式的研究，都没有观察到 C1 注意效应。再次，对于非随意注意的概念以及 Rauss 所提出的提示刺激可能在主动观看和被动观看之间存在非随意注意差异的问题，我们也进行了反驳，认为我们实验中的提示刺激突显时自动吸引的非随意注意程度在主动与被动观看之间并不像 Rauss 认为的那样，在主动观看时更强。最后，对于如何解释操控注意负载所表现的 C1 注意效应，我们认为我方解释与 Rauss 的解释并不冲突，是可以统一在注意的负载理论下的，区别在于我们强调的是中央任务注意负载低时对外周刺激的注意增强，而 Rauss 强调的是中央任务注意负载高时对外周刺激的注意过滤，这属于一个硬币的两面。

总之，我们认为被动 vs.主动观看的操控是对注意负载概念的操作性定义，尽管不同于 Rauss 等人的注意负载操作，但是有效且直接，属于针对注意负载概念的重复性实验。不过，由于两个研究对注意负载的操作性定义迥然不同，我们并不能以自己实验中观察到的阴性结果去证伪 Rauss 研究中的阳性发现；也即统计上常说的，不能用不显著的结果去否定同类实验显著的结果。因此，注意负载对 C1 注意效应的作用尚需进一步验证。

5.3 C1 起源之争——C1 的极性翻转是否能证明其起源于 V1？

根据经典初级视皮层的十字模型(cruciform

model) (Jeffreys & Axford, 1972a; Jeffreys & Axford, 1972b), 一般认为, 产生于 V1 的 C1 成分会依据刺激在上下视野的呈现位置而翻转极性。这通常被认为是判断一个成分是否起源于 V1 的决定性标准。然而, 有研究者对此提出了质疑(Ales, Yates, & Norcia, 2010)。Ales 等人利用被试的 MRI 三维真实头模型, 以 fMRI 功能成像得到的 V1、V2 和 V3 脑区的背侧和腹侧作为起源, 进行前向模拟计算其头表电压。模拟结果显示, 源于 V1 的头表电压分布并无极性翻转特性; 而且, 与十字模型的预期相反, 源于 V2 和 V3 的电压分布反而表现出对刺激位置的上、下视野翻转极性。因此, 作者认为, 根据极性翻转与否判断一个活动是否起源于 V1 并不充分, 需要进行反向溯源; 过往那些用极性翻转来证明 C1 来自 V1 的研究, 不能排除 V1 以外其他脑区的贡献。

这项研究对 Kelly 等(2008)利用 C1 极性翻转可以证明 C1 注意效应源于 V1 的结论提出了质疑。对此, Kelly 等进行了反质疑(Kelly et al., 2013)。他们提出, Ales 等的研究中, 刺激的位置并不适于研究十字模型; 他们还主张, C1 这一最早的视觉皮层反应, 其脑内源于 V1 的结论可以通过非人灵长类颅内记录的潜伏期和极性特点得到验证。

随后, Ales 等人又对此进行了反驳(Ales, Yates, & Norcia, 2013)。首先, 他们使用了 Kelly 等人所建议的适于检验十字模型的刺激位置, 得出了与先前研究一致的结果, 即源于 V2 和 V3 而非源于 V1 的活动表现出极性翻转特点, 因此, 他们之前所提出的——不能把极性翻转作为源于 V1 标准的结论仍然成立。其次, 他们演示了所谓的最佳刺激位置假定的解剖结构, 与实际的 V1 数据并不符合。最后, 他们还提出, 不同研究之间以及不同物种之间所用刺激之差异, 可能会与用非人灵长类数据来解释人类数据相混淆; 而且, 非人灵长类研究的文献显示, 很多其他脑区与 V1 是同时激活的, 可能并不像一些研究者所假定的那样先激活 V1 之后再激活其他脑区。

6 研究展望及我们的观点

综上, 对 “C1 成分是否受空间注意调制”的问题尚有争论。尽管少数派观点还没有得到完全证实, 但已有研究提示了一些可能有利于诱发 C1 注意效应的实验参数和因素, 包括刺激物、注意范式、负载的控制、记录分析的电极等。这些参数和因素在最近的一篇综述论文中得到了阐述(Slotnick, 2018), 其中多处引用了我们关于适于 V1 加工且带有分心物的刺激(Fu et al., 2005a)、高知觉负载(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009)、外周提示范式(Fu et al., 2009)、分析电极的选择(Fu et al., 2010b)等的研究。

6.1 C1 注意效应的检验标准及其产生的边界条件

要确定少数派观点是否成立, 需对 C1 注意效应进行进一步检验并明确其产生的边界条件。可有如下检验标准。(1)要确认是 C1 而不是其他成分, 可从潜伏期、头表分布、极性翻转等特点进行验证。当然, 如争论所述, 极性翻转能否作为源于 V1 的决定性标准尚需商榷(Ales et al., 2013; Kelly et al., 2013), 但可暂时作为参考性标准; (2)要确认是注意效应而不是其他因素如预期(Herde et al., 2018)、动机(Slagter et al., 2017)、提示与目标之间的感觉交互(Baumgartner et al., 2018)等带来的效应, 这需从实验设计、被试任务和状态等进行推论与判断; (3)要确认 C1 源于 V1, 可从 C1 注意效应的极性翻转、C1 注意效应产生于早期的上升支(约 50~80 ms)、源定位技术把注意效应定位于 V1 进行验证。另外, 要明确 C1 注意效应的边界条件。根据以往研究, 刺激属性、刺激是否包含分心物、注意类型、知觉负载、注意负载、被试间个体差异以及分析电极等诸多因素都可能会影响 C1 注意效应的出现(综述见 Slotnick, 2018)。因此, 未来研究一方面需要比较重复性实验之间的异同或不同实验之间控制及参数, 考察具体某个因素对 C1 注意效应的重要作用, 另一方面需要有效整合上述影响因素以稳定地观察到 C1 注意效应。

6.2 开放又谨慎地看待 C1 注意效应

我们认为, 需要以开放而又谨慎的态度看待 C1 注意效应(Fu, 2018a)。我们以往的研究结果中, C1 注意效应在一定程度上表现出不可捉摸性。在与 C1 注意效应相关的多个研究中, C1 成分不受注意调制(Fu, Caggiano, Greenwood, & Parasuraman, 2005b; Fu et al., 2001; Fu et al., 2010b; Fu et al., 2005a); 而一些研究发现 C1 受注意调制且表现为增强效应(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009), 或者因注意而减小(Fu et al., 2008)。这些不一致的结果既提示 C1 注意效应并不是在任意情况下都能出现,

需要特异性的实验条件，又提示我们需要以开放的态度对此进行研究。从这些研究中，我们尝试性地提出了可能影响 C1 注意效应的因素，包括刺激阵列需要适于 V1 加工且有多个分心物、使用非随意注意范式且刺激具有高知觉负载等(Fu et al., 2010b; Fu et al., 2012; Fu et al., 2009)。不满足这几个条件的研究则没有观察到 C1 注意效应(Fu et al., 2005b; Fu et al., 2001; Fu et al., 2005a; Fu et al., 2008)。值得注意的是，最近有一项研究，使用高知觉负载、适于 V1 加工且有分心物的刺激，并采用外周提示的实验范式，重复出了我们之前所观察到的 C1 注意效应(Dassanayake et al., 2016)，扩大了少数派观点的阵营。不过，针对非随意注意(外周)提示范式对于诱发 C1 注意效应是否必要，或许还可以进一步研究，因为其他研究者利用随意注意范式(Kelly et al., 2008)或者类似分配性注意的范式(Rauss et al., 2009)也发现了 C1 注意效应。还有研究者认为，外周提示范式对基于空间的 C1 注意效应可能有效，而对基于物体的 C1 注意效应则未必有效；且随意注意条件下 C1 注意效应在基于物体时比基于空间时更大(Zani & Proverbio, 2003)。

另外，C1 成分的信噪比问题及 C1 本身幅度与注意效应的关系值得进一步探究。显然，一个适于 V1 加工且视角较大的刺激能诱发出明显的 C1(Ding et al., 2014; Rauss et al., 2009)；而且，刺激阵列在双侧同时呈现(即左右视野有相同的刺激阵列)，与同一刺激只呈现在单侧(只有一侧有刺激阵列)相比，双侧呈现大约可以使 C1 波幅放大一倍(Fu et al., 2010b)。这些方法都可以提高 C1 成分的信噪比。另外，通过预实验确定每个被试的刺激位置(Baumgartner et al., 2018; Kelly et al., 2008)、选取恰当的电极进行分析(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009)等方法都有助于观察到更大的 C1 成分。非常重要的是，研究者所关注的实际上是 C1 注意效应的大小而非 C1 成分本身的大小，而这两者并不一定是统一的，即，可能 C1 本身很大，但是 C1 注意效应并不大，反之亦然。因此从这个角度看，过大的 C1 成分本身，特别是非注意条件下的 C1 如果过大，未必有利于观察 C1 注意效应，因为大的 C1 一般由大的刺激诱发，而大刺激的呈现本身会更容易吸引注意，以至该刺激在非注意条件下实际也吸引了注意，从而减弱注意与非注意条件下的差异。这可能会对观察潜在的 C1 注意效应带来不利影响。

6.3 如何更好地观察潜在的 C1 注意效应？

我们提出，运用一些方法和技巧，有助于更好地观察到潜在的 C1 注意效应(Fu, 2018b)。与某些研究者的观点一致，我们认为适宜的实验参数对于研究 C1 注意效应而言是至关重要的，这些参数可能包括刺激呈现于上视野，高知觉(注意)负载，刺激中有分心物，非随意注意范式以及电极选择的灵活性等(Slotnick, 2018)。不过，这些实验参数对 C1 注意效应的具体作用可以通过对统计显著性的贡献来评价。以简单的 t 检验为例，要增加差异显著性，一方面需要增大分子(差异量)，另一方面需要减小变异。相应地，要增加 C1 注意效应显著的可能性，可有如下方法：(1)增大注意效应；(2)减小组内变异；(3)增加被试数。增加被试数的方法简单易行，这里不予讨论；我们主要关注前两个问题，即如何增大注意效应和减小组内变异。

第一，增大 C1 注意效应。具体可有以下方法。

(1)增大注意效应本身。知觉负载(Dassanayake et al., 2016; Fu et al., 2009)和注意负载(Rauss et al., 2009)对于诱发注意效应而言可能是比较重要的；而且，基于注意的竞争模型(Desimone & Duncan, 1995)，当目标与分心物一起出现时，注意效应更强。一般而言，较小且低对比度的刺激、或者刺激的消失而非突显可能会更有利于增大注意效应，因其相对而言留下更多注意增强的空间。即，一个过强的刺激本身可能会因更吸引注意而导致“天花板效应”，反而使得注意效应变弱。当然，研究者需要在增强注意效应与提高 C1 本身信号之间找到一个平衡点，因为较小且低对比度的刺激诱发的 C1 成分本身较弱，可能不利于 C1 之间的比较。另外，通过预实验确定每个被试的刺激位置(Baumgartner et al., 2018; Kelly et al., 2008)、选取恰当的电极进行分析(Fu et al., 2010a; Fu et al., 2009)等方法都有助于观察到 C1 注意效应。特殊的同质性群体(例如超强注意力者，或者职业运动员，见(Jin et al., 2010))可能会有助于“放大”C1 注意效应。需要指出的是，可能只有整合这些因素而非单独控制某个因素，才有助于观察到 C1 注意效应。

(2)试次之间保持注意效应稳定一致。从这个

角度看，外周提示范式有其优点，因其相对较窄的提示与目标之间的 SOA (大致 100~300 ms)，比中央提示范式(通常 SOA 在 500 ms)更有利于注意分配集中进行。就外周提示范式下的固定 SOA 与在一段时间内随机化 SOA 而言，孰优孰劣并无定论，两种条件下都曾观察到 C1 注意效应(Fu et al., 2010b; Fu et al., 2009)。固定 SOA 的优势在于其注意效应在试次之间可能更稳定，但需要依赖线性假设，把仅有提示的 ERP 从提示加目标的 ERP 之中减掉，以解决短 SOA 条件下提示与目标之间的 ERP 重叠问题。相比之下，随机化的 SOA 可基于 ADJAR 算法(Woldorff et al., 1997)更好地去除 ERP 重叠问题，但其注意效应又可能在试次之间波动。

(3)增大注意效应所改变的比例。C1 注意效应与 C1 本身不同, C1 注意效应与基线 C1(通常是非注意时的 C1)之间的相对比例其实更为重要。一个较小的注意效应(例如 0.5 微伏)可以来自于相对改变比例较大的比较(例如注意条件下的 1.5 微伏减去非注意时的 1 微伏)，也可以是来自相对改变比例较小的比较(例如注意条件下的 3 微伏减去非注意时的 2.5 微伏)，两者的改变比例分别是 50%和 20%。很明显，前者的改变幅度更大，从统计差异检验的角度看也更容易显著。这也再次说明，非注意条件下如果 C1 成分过大，对于诱发 C1 注意效应而言反而可能不利，因其可能更容易吸引注意而使得留给注意调制的空间变小，不利于达到更大的注意效应的变化比例。

第二，减小组内变异。实际应用中，减小组内变异的方法包括但不限于：排除预实验中无明显 C1 成分或者强 alpha 波的被试，按照被试的个体差异调整刺激物的呈现位置以及测量电极的选用，刺激物呈现于上视野以排除 C1 与其后 P1 成分的重叠，选择同质性被试(例如职业运动员，Jin et al., 2010)，等。当然，有些方法可能有助于减小组内变异，但同时也可能会影响注意效应，例如按被试个体差异调整刺激位置或者选择同质性被试。因此，从差异检验的角度来看，这类方法既能增大分子(注意与非注意的差异)，又能减小分母(变异量)，肯定是值得做的。

7　结语

对“C1 注意效应存在与否”争论的总结如下。(1)C1 注意效应存在与否尚无定论，存在“多数派”与“少数派”之争；双方的争论焦点在于反映 V1 活动的 C1 成分是否直接受空间注意的调制。“少数派”观点认为，在一定的实验条件下，空间注意可以调制 C1 成分，这对传统的“多数派”观点提出了挑战。(2)然而，支持“少数派”观点的实验证据相对较少，研究结果存在一定的不可重复性问题，目前尚缺乏决定性的证据；而且，迄今“少数派”观点的支持性证据之间，在研究结论与解释上尚有逻辑自洽性问题，存在一定程度的不一致，需进一步检验与调和；因此，尚需后续研究验证 C1 注意效应存在与否，如存在，需明确该效应的影响因素及边界条件。(3)由于 C1 注意效应存在与否目前尚无定论，因此，需秉持开放而又谨慎的态度，按照 C1 注意效应的一些验证性标准(如 C1 成分的时程、头表分布、起源以及极性翻转等特点，是注意而非其他效应等)进行深入探究；后续研究可在考虑以往研究所提示的一些影响因素(如适于 V1 加工且有分心物的刺激阵列、高知觉/注意负载、非随意注意范式等)的基础上，从提高 C1 注意效应和减小组内差异两个角度入手，进一步细致地考察可能影响 C1 注意效应的其他因素(如避免注意的“天花板效应”、保持注意效应在试次间一致、增大注意效应相对于基线所改变的比例、合理选择被试并根据被试者 V1 结构特点进行个体化刺激呈现和分析电极选取等)，特别是要考虑多个因素之间的协同作用，以便更有效地揭示潜在的 C1 注意效应。(4)尽管证据越来越多，但迄今并无决定性的研究证据支持少数派观点，因此多数派与少数派之争还将继续。

最后，本文以多数派观点代表人物 Baumgartner 等人的观点作为对 C1 注意效应之争的探讨的结束：“我们期待之后有更多的研究来证明视觉注意的这一重要机制” (Baumgartner et al., 2018)。

参考文献

陈建，袁杰，汪海玲，王妍，傅世敏. (2013). C1 调制效应的理论评述及影响因素. *心理科学进展, 21*(3), 407–417

Ales, J. M., Yates, J. L., & Norcia, A. M. (2010). V1 is not uniquely identified by polarity reversals of responses to upper and lower visual field stimuli. *Neuroimage, 52*(4), 1401–1409.

Ales, J. M., Yates, J. L., & Norcia, A. M. (2013). On determining the intercranial sources of visual evoked

potentials from scalp topography: A reply to Kelly et al. (this issue). *Neuroimage, 64*, 703–711.

Bahrami, B., Carmel, D., Walsh, V., Rees, G., & Lavie, N. (2008). Spatial attention can modulate unconscious orientation processing. *Perception, 37*(10), 1520–1528.

Baumgartner, H. M., Graulty, C. J., Hillyard, S. A., & Pitts, M. A. (2018). Does spatial attention modulate the C1 component? The jury continues to deliberate. *Cognitive Neuroscience, 9*(1-2), 34–37.

Bayer, M., Rossi, V., Vanlessen, N., Grass, A., Schacht, A., & Pourtois, G. (2017). Independent effects of motivation and spatial attention in the human visual cortex. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 12*(1), 146–156.

Clark, V. P., & Hillyard, S. A. (1996). Spatial selective attention affects early extrastriate but not striate components of the visual evoked potential. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(5), 387–402.

Dassanayake, T. L., Michie, P. T., & Fulham, R. (2016). Effect of temporal predictability on exogenous attentional modulation of feedforward processing in the striate cortex. *International Journal of Psychophysiology, 105*, 9–16.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience, 18*, 193–222.

Di Russo, F., Martinez, A., & Hillyard, S. A. (2003). Source analysis of event-related cortical activity during visuo-spatial attention. *Cerebral Cortex, 13*(5), 486–499.

Ding, Y. L., Martinez, A., Qu, Z., & Hillyard, S. A. (2014). Earliest stages of visual cortical processing are not modified by attentional load. *Human Brain Mapping, 35*(7), 3008–3024.

Fu, S. M. (2018a). Open and cautious towards the "minority view". *Cognitive Neuroscience*, *9*(1-2), 28–30.

Fu, S. M. (2018b). 'Tricks' for revealing potential attentional modulations on the C1 component. *Cognitive Neuroscience*, *9*(1-2), 63–64.

Fu, S. M., Caggiano, D. M., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2005b). Event-related potentials reveal dissociable mechanisms for orienting and focusing visuospatial attention. *Cognitive Brain Research, 23*(2-3), 341–353.

Fu, S. M., Fan, S. L, Chen, L., & Zhuo, Y. (2001). The attentional effects of peripheral cueing as revealed by two event-related potential studies. *Clinical Neurophysiology, 112*(1), 172–185.

Fu, S. M., Fedota, J., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2010a). Early interaction between perceptual load and involuntary attention: An event-related potential study. *Neuroscience Letters, 468*(1), 68–71.

Fu, S. M., Fedota, J. R., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2010b). Dissociation of visual C1 and P1 components as a function of attentional load: an event-related potential study. *Biological Psychology, 85*(1), 171–178.

Fu, S. M., Fedota, J. R., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2012). Attentional load is not a critical factor for eliciting C1 attentional effect - A reply to Rauss, Pourtois, Vuillenumier, and Schwartz. *Biological Psychology, 91*(2), 321–324.

Fu, S. M, Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2005a). Brain mechanisms of involuntary visuospatial attention: An event-related potential study. *Human Brain Mapping, 25*(4), 378–390.

Fu, S. M., Huang, Y. X., Luo, Y. J., Wang, Y., Fedota, J., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2009). Perceptual load interacts with involuntary attention at early processing stages: Event-related potential studies. *Neuroimage, 48*(1), 191–199.

Fu, S. M., Zinni, M., Squire, P. N., Kumar, R., Caggiano, D. M., & Parasuraman, R. (2008). When and where perceptual load interacts with voluntary visuospatial attention: An event-related potential and dipole modeling study. *Neuroimage, 39*(3), 1345–1355.

Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Münte, T. F., ... Hillyard, S. A. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature, 372*, 543–546.

Herde, L., Rossi, V., Pourtois, G., & Rauss, K. (2018). Early retinotopic responses to violations of emotion-location associations may depend on conscious awareness. *Cognitive Neuroscience, 9*(1-2), 38–55.

Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 353*(1373), 1257–1270.

Hopfinger, J. B., & Mangun, G. R. (1998). Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. *Psychological Science, 9*(6), 441–447.

Jeffreys, D. A., & Axford, J. G. (1972a). Source locations of pattern-specific components of human visual evoked potentials. I. Component of striate cortical origin. *Experimental Brain Research, 16*(1), 1–21.

Jeffreys, D. A., & Axford, J. G. (1972b). Source locations of pattern-specific components of human visual evoked potentials. II. Component of extrastriate cortical origin. *Experimental Brain Research, 16*(1), 22–40.

Jin, H., Xu, G. P., Zhang, J. X., Ye, Z., Wang, S. F., Zhao, L., ... Mo, L. (2010). Athletic training in badminton players modulates the early C1 component of visual

evoked potentials: A preliminary investigation. *International Journal of Psychophysiology, 78*(3), 308–314.

Karns, C. M., & Knight, R. T. (2009). Intermodal auditory, visual, and tactile attention modulates early stages of neural processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(4), 669–683.

Kelly, S. P., Gomez-Ramirez, M., & Foxe, J. J. (2008). Spatial attention modulates initial afferent activity in human primary visual cortex. *Cerebral Cortex, 18*(11), 2629–2636.

Kelly, S. P., Vanegas, M. I., Schroeder, C. E., & Lalor, E. C. (2013). The cruciform model of striate generation of the early VEP, re-illustrated, not revoked: A reply to Ales et al. (2013). *Neuroimage, 82*, 154–159.

Khoe, W., Mitchell, J. F., Reynolds, J. H., & Hillyard, S. A. (2005). Exogenous attentional selection of transparent superimposed surfaces modulates early event-related potentials. *Vision Research, 45*(24), 3004–3014.

Kok, P., Rahnev, D., Jehee, J. F. M., Lau, H. C., & De Lange, F. P. (2012). Attention reverses the effect of prediction in silencing sensory signals. *Cerebral Cortex, 22*(9), 2197–2206.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance, 21*(3), 451–468.

Lavie, N., & Tsal, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual-attention. *Perception & Psychophysics, 56*(2), 183–197.

Luck, S. J. (2005). The Design and interpretation of ERP experiments. In M. S. Gazzaniga (Eds) *An introduction to the event-relatedpotential technique*. (51–98). Massachusetts: MIT Press,.

Martínez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Frank, L. R., Buxton, R. B., Dubowitz, D. J., ... Hillyard, S. A. (1999). Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature Neuroscience, 2*, 364–369.

Martínez, A., DiRusso, F., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Buxton, R. B., & Hillyard, S. A. (2001a). Putting spatial attention on the map: Timing and localization of stimulus selection processes in striate and extrastriate visual areas. *Vision Research, 41*(10-11), 1437–1457.

Motter, B. C. (1993). Focal attention produces spatially seletive processing in visual cortical areas V1, V2, and V4 in the presence of competing stimuli. *Journal of Neurophysiology, 70*(3), 909–919.

Müller, H. J., & Rabbitt, P. M. A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Timecourse of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 15*(2), 315–330.

Poghosyan, V., & Ioannides, A. A. (2008). Attention modulates earliest responses in the primary auditory and visual cortices. *Neuron, 58*(5), 802–813.

Pourtois, G., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2004). Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces. *Cerebral Cortex, 14*(6), 619–633.

Rauss, K. S., Pourtois, G., Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2009). Attentional load modifies early activity in human primary visual cortex. *Human Brain Mapping, 30*(5), 1723–1733.

Rauss, K. S., Pourtois, G., Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2012a). Effects of attentional load on early visual processing depend on stimulus timing. *Human Brain Mapping, 33*(1), 63–74.

Rauss, K. S., Pourtois, G., Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2012b). Voluntary attention reliably influences visual processing at the level of the C1 component: A commentary on Fu, Fedota, Greenwood, and Parasuram (2010). *Biological Psychology, 91*(2), 325–327.

Slagter, H. A., Alilovic, J., & Van Gaal, S. (2017). How early does attention modulate visual information processing? The importance of experimental protocol and data analysis approach. *Cognitive Neuroscience, 9*(1-2), 26–28.

Slotnick, S. D. (2013). The nature of attentional modulation in V1. In S. Slotnick (Eds.), *Controversies in Cognitive Neuroscience* (pp. 44–69). New York, NY: Palgrave Macmillan.

Slotnick, S. D. (2018). The experimental parameters that affect attentional modulation of the ERP C1 component. *Cognitive Neuroscience, 9*(1–2), 53-62.

Stănişor, L., Van Der Togt, C., Pennartz, C. M. A., & Roelfsema, P. R. (2013). A unified selection signal for attention and reward in primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(22), 9136–9141.

Sylvester, C. M., Shulman, G. L., Jack, A. I., & Corbetta, M. (2009). Anticipatory and stimulus-evoked blood oxygenation level-dependent modulations related to spatial attention reflect a common additive signal. *The Journal of Neuroscience, 29*(34), 10671–10682.

Watanabe, M., Cheng, K., Murayama, Y., Ueno, K., Asamizuya, T., Tanaka, K., & Logothetis, N. (2011). Attention but not awareness modulates the BOLD signal in the human V1 during binocular suppression. *Science, 334*(6057), 829–831.

Woldorff, M. G., Fox, P. T., Matzke, M., Lancaster, J. L., Veeraswamy, S., Zamarripa, F., ... Jerabek, P. (1997). Retinotopic organization of early visual spatial attention effects as revealed by PET and ERPs. *Human Brain Mapping, 5*(4), 280–286.

Zani, A., & Proverbio, A. M. (2003). Chapter 1 – Cognitive electrophysiology of mind and brain. *Cognitive Electrophysiology of Mind & Brain*, 3–12.

Zhang, X. L., Zhao, P. L., Zhou, T. G., & Fang, F. (2012). Neural activities in V1 create a bottom-up saliency map. *Neuron, 73*(1), 183–192.

Zhu, X. R., & Luo, Y. J. (2012). Fearful faces evoke a larger C1 than happy faces in executive attention task: An event-related potential study. *Neuroscience Letters, 526*(2), 118–121.

Research debate: Does spatial attention modulate C1 component?

FU Shimin; CHEN Xiaowen; LIU Yuqi

(*Department of Psychology and Center for Brain and Cognitive Sciences, School of Education, Guangzhou University, Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract: In the event-related potential (ERP) studies of visual attention, there is a debate regarding whether the C1 component, originated in V1, is modulated by spatial attention. The majority view suggests that C1 is not directly modulated by spatial attention; however, there is a delayed-feedback in V1. The minority view, on the other hand, implies that the C1 component can be directly modulated by spatial attention at the early feed-forward processing stage. Recently there was a debate regarding this issue. In this review, we first summarize the main points and evidence for each side. Second, we listed the factors that may affect the C1 attentional effects. Third, we review and comments on the recent discussions on three aspects, including the repeatability of C1 attentional effect, the role of perceptual and attentional load in eliciting this effect, and the relationship between C1 polarity reversal and its V1-origin. Finally we proposed two points of view: the first is that we should be open and cautious towards the minority view, and the second, there are some techniques and methods that may help to reveal the potential C1 attentional effect. In conclusion, the majority view has been supported by many previous studies and the minority view needs more decisive evidence, and this debate will continue.

Key words: attention; C1; event-related potential (ERP)